

تنوع ساختاری موزاییک‌های مراحل تحولی در جنگل مدیریت شده راش شرقی (بررسی موردی: حوضه آبخیز ۳۰ رامسر)

سید باقر میراحمدی^۱، اسداله متاجی^{۲*}، ساسان بابایی کفاکی^۳ و رضا اخوان^۴

۱- دانشجوی دکتری جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. (mirahmadi_rasool@yahoo.com)

۲- استاد، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. (amataji@srbiau.ac.ir)

۳- دانشیار، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. (sbabaie@srbiau.ac.ir)

۴- دانشیار پژوهش، موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. (akhavan@rifr-ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۱۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۰۴

چکیده

مقدمه و هدف: جنگل‌های هیرکانی از نظر حفظ ذخایر ژنتیکی و وجود برخی از گونه‌های گیاهی که منحصر به این ناحیه رویشی بوده دارای اهمیت هستند. بنابراین بررسی بیشتر ویژگی‌های این جوامع جنگلی به منظور مدیریت بهینه با هدف حفظ تنوع در این جنگل‌ها همواره یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر است. یکی از این ویژگی‌ها، پویایی ساختار بوده که بر عملکرد بوم‌سازگان تأثیر می‌گذارد و با مدیریت جنگل و آشفستگی‌های طبیعی اصلاح می‌شود. از این‌رو، هدف اصلی این پژوهش بررسی تنوع ساختاری مراحل تحولی در جنگل‌های مدیریت شده آمیخته راش شرقی است.

مواد و روش‌ها: یک محدوده ۱۰ هکتاری در توده‌های مدیریت شده پارسل شماره ۵۱۴ سری پنج طرح جنگلداری صفارود (اشکنه‌چال) که تعداد ۴۲ موزاییک از مراحل تحولی اولیه، بلوغ و پوسیدگی، بدون در نظر گرفتن اندازه و شکل آن شناسایی و انتخاب شدند. درختان داخل هر موزاییک شماره‌گذاری شده و مورد آماربرداری ۱۰۰ درصد قرار گرفتند. موقعیت مکانی تمامی درختان که دارای قطر برابر سینه بیشتر از ۷/۵ سانتی‌متر بودند با استفاده از فاصله و آزیموت پایه‌ها نسبت به یکدیگر برای هر درخت ثبت شد. پس از شماره‌گذاری درختان، ویژگی‌هایی مانند قطر برابر سینه و ارتفاع درختان اندازه‌گیری شد. سپس درختان براساس قطر برابر سینه به چهار کلاسه کم قطر (>۳۵ سانتی‌متر)، میان قطر (۵۰-۳۵ سانتی‌متر)، قطور (۷۵-۵۰ سانتی‌متر) و خیلی قطور (<۷۵ سانتی‌متر) تقسیم‌بندی شدند. برای کمی‌سازی ساختار هر موزاییک در توده‌های مورد بررسی، از مجموعه‌ای از شاخص‌های مختلف ساختاری براساس سه ویژگی تنوع الگوی مکانی، تنوع آمیختگی و تنوع ابعاد درختان استفاده شد. پس از تجزیه و تحلیل داده‌های آماری، مشخصه‌های

ساختاری توده شامل شاخص‌های تمایز قطری، تمایز ارتفاعی، زاویه یکنواخت، میانگین فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه‌ها، آمیختگی و کلارک و ایوانز در موزاییک‌ها محاسبه شدند. برای بررسی تنوع موقعیت مکانی درختان از شاخص‌های زاویه یکنواخت و کلارک و ایوانز استفاده شد. همچنین برای بررسی آمیختگی گونه‌ای نیز از شاخص آمیختگی و برای بررسی تنوع ابعاد درختان در هر موزاییک مرحله تحولی، از شاخص‌های تمایز قطری و تمایز ارتفاعی استفاده شد. تراکم درختان نیز با استفاده از شاخص فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه‌ها اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: مرحله تحولی اولیه با ۱۸ موزاییک، بیشترین و مرحله تحولی بلوغ با ۱۱ موزاییک، کمترین فراوانی را به خود اختصاص دادند. مساحت موزاییک‌ها از ۲۹۲ تا ۵۱۴۵ مترمربع متغیر بود. در مجموع در توده‌های موردبررسی، مرحله اولیه دارای بیشترین و مرحله پوسیدگی دارای کمترین سطح در منطقه موردبررسی بودند. مرحله تحولی اولیه و پوسیدگی به ترتیب با متوسط ۴۲۷ و ۲۱۲ اصله در هکتار به ترتیب بیشترین و کمترین فراوانی درختان سرپا در هکتار را به خود اختصاص دادند. متوسط سطح مقطع در هکتار در مراحل تحولی اولیه، بلوغ و پوسیدگی به ترتیب ۳۸/۷۵، ۴۲/۲۶ و ۳۷/۶۳ مترمربع در هکتار اندازه‌گیری شد. مقدار شاخص میانگین فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه در موزاییک‌های مراحل تحولی اولیه، بلوغ و پوسیدگی به ترتیب به‌طور متوسط ۴/۳۹، ۴/۹۶ و ۵/۷۶ متر به‌دست آمد. مقدار شاخص کلارک و ایوانز در هر سه مرحله تحولی کمتر از یک به‌دست آمد که بیانگر این است که درختان در تمامی قطعات از الگوی پراکنش کپه‌ای برخوردار هستند. مقدار شاخص زاویه یکنواخت در تمام مراحل ۰/۵ و بیشتر از ۰/۵ محاسبه شد که نشان‌دهنده الگوی پراکنش کپه‌ای درختان است. مقدار متوسط شاخص آمیختگی در موزاییک‌های مراحل تحولی اولیه، بلوغ و پوسیدگی به ترتیب ۰/۳۱، ۰/۲۷ و ۰/۱۸ به‌دست آمد. همچنین میانگین شاخص تمایز قطری در مراحل تحولی اولیه، بلوغ و پوسیدگی به ترتیب ۰/۴۳، ۰/۳۷ و ۰/۴۳ محاسبه شد. میانگین شاخص تمایز ارتفاعی در مرحله اولیه ۰/۳۱، بلوغ ۰/۲۸ و مرحله پوسیدگی ۰/۳۳ به‌دست آمد.

نتیجه‌گیری کلی: با توجه به اقدامات مدیریتی در توده‌های راش موردبررسی، نتایج کمی‌سازی ساختار توده‌ها به تناسب موزاییک‌های مراحل تحولی مختلف، می‌تواند به‌عنوان یک راهنما و الگو برای مدیریت دیگر توده‌های جنگلی مشابه مورد استفاده قرار گیرد. همچنین مشخصه‌ها و توابع مورد استفاده در این پژوهش می‌توانند به‌عنوان شاخص‌هایی برای سنجش دخالت‌های انجام‌شده (اجرای اقداماتی مانند عملیات پرورشی و نشانه‌گذاری) و همچنین پایش مراحل تحولی در این توده‌ها در طی زمان مورد استفاده مدیران جنگل قرار گیرند. تنوع ساختاری جنگل‌های مدیریت‌شده ناهمسال بین مراحل مختلف تحولی متفاوت است. بنابراین، برای درک چگونگی تأثیر اقدامات مدیریتی بر پویایی ساختاری کوتاه‌مدت در جنگل‌های راش بایستی پژوهش‌های مشابه در سری‌های زمانی پنج تا ۱۰ ساله در توده‌های موردبررسی انجام شود.

واژه‌های کلیدی: پویایی، تمایز ارتفاعی، تمایز قطری، ساختار، شاخص زاویه یکنواخت.

مقدمه

جنگل‌های راش (*Fagus orientalis* Lipsky) در شمال ایران با درختانی که بیش از ۳۵۰ سال سن دارند و معمولاً قطر برابر سینه آنها بزرگتر از ۱۱۰ سانتی‌متر است (Amini et al., 2009) جزء جنگل‌های پهن‌برگ معتدله خزان‌کننده‌اند که از نظر قدمت تکاملی و تحولاتی که پشت سر گذاشته‌اند دارای ارزش فراوان در سطح بین‌المللی هستند و از نظر تنوع گیاهی جزء جنگل‌های غنی دنیا محسوب می‌شوند (Parhizkar et al., 2021). اهمیت جنگل‌های هیرکانی از نظر حفظ ذخایر ژنتیکی و وجود برخی از گونه‌های گیاهی که منحصر به این ناحیه رویشی هستند بر کسی پوشیده نبوده و نقش حیاتی آن در ابعاد مختلف اقتصادی، اجتماعی، تعادل محیط زیست، حفاظت و تثبیت بوم‌سازگان‌ها، توجه مدیران را در سطح منطقه‌ای و ملی به خود جلب کرده است و به دلیل وجود پایه‌های قطور فراوان که یکی از شاخص‌های توده‌های کهنسال است، جزو جنگل‌های کهن‌رست محسوب می‌شوند (Fazlollahi et al., 2022). یکی از مسایل مهم و دارای اهمیت این جنگل‌ها تخریب ناشی از عوامل انسانی و طبیعی است که در دهه گذشته، جنگل‌های هیرکانی را با وضعیت بحرانی مواجه ساخته است (Fazlollahi et al., 2022). همواره تمایل زیادی به درک بیشتر از ویژگی‌های این جوامع جنگلی متنوع به منظور مدیریت بهینه و برنامه‌ریزی‌های چندمنظوره، با هدف حفظ تنوع در این جنگل‌ها وجود دارد (Fazlollahi et al., 2022).

جنگل‌های کهن‌رست میزبان گیاهان، قارچ‌ها و حیواناتی‌اند که در مراحل اولیه رشد وجود نداشته یا نادر هستند و برای تنوع زیستی منطقه‌ای مهم هستند (Bauhus et al., 2009). علاوه بر این، آنها یک مرجع مهم برای ارزیابی اثرات انسانی بر بوم‌سازگان‌های جنگل و توسعه سامانه‌های جنگلشناسی بوده که قادر به

تقلید از فرآیندهای طبیعی هستند و اهداف اجتماعی و اقتصادی را در حین حفظ طیف گسترده‌ای از خدمات بوم‌سازگان ارائه می‌دهند (Sagheb talebi et al., 2020). زمان لازم برای تکامل ویژگی‌های جنگل کهن‌رست در جنگل‌هایی که قبلاً مدیریت شده‌اند بسته به ویژگی‌های رویشگاه (مانند رژیم آشفستگی، تاریخچه و حاصلخیزی) و ویژگی‌های کاربردی گونه‌های درختی (مانند نرخ رشد، طول عمر، نرخ پوسیدگی چوب و غیره) ممکن است از چند دهه تا چند قرن متفاوت باشد (Motta et al., 2010).

کمی‌سازی ساختار جنگل شامل اندازه‌گیری‌های ابتدایی از جنگل و محاسبه شاخص‌های ساختاری مانند آمیختگی گونه‌ای، زاویه یکنواخت و غیره است (Clark and Evans, 1954). از این شاخص‌ها می‌توان به منظور اندازه‌گیری تغییرات جنگل و همچنین بررسی تاثیر مدیریت بر ساختار توده‌ها استفاده کرد (Pommerening, 2002). در مقایسه ساختار توده‌ها در جنگل‌های مدیریت شده و دست‌نخورده، ساختار توده‌های جنگلی در جنگل‌های مدیریت شده نشان‌دهنده دولاویه مجزا از ساختار عمودی (آشکوب بالا و آشکوب پایین) است، درحالی‌که در جنگل‌های دست‌نخورده با تعداد درختان برابر، تنوع ساختاری بسیار بالاتر و تاج درختان بلندتر و در طبقه‌های مختلف قرار دارند (Kuuluvainen et al., 1996; Akhavan et al., 2023). در جنگلشناسی همگام با طبیعت اصطلاح ساختار جنگل شامل توصیف آمیختگی گونه‌ای، الگوی مکانی درختان و پراکنش عمودی و افقی جنگل است (Alijani et al., 2013). ساختار توده شامل پراکنش اندازه‌های درختان، پراکنش مکانی درختان و درختچه‌ها و درصد خشک‌دارهای سرپا یا افتاده است (Moridi et al., 2015). همچنین ساختار توده بر تولید حجم از طریق مکان و کارایی تاج پوشش درختان در توده‌های

یکدیگر به دلیل ثابت بودنشان بسیار کند بوده و به آهستگی انجام می‌شود، بنابراین توده فعلی نتیجه یک برهم‌کنش بین درختان و محیط پیرامون در یک مقیاس زمانی بلند مدت است. مشخصه‌های ساختاری توده‌های جنگلی و مسیرهای تحول توده اغلب توسط آشفستگی‌های طبیعی با منشأ درونی و نیز آشفستگی‌های با منشأ انسانی تحت تأثیر قرار می‌گیرد. در یک منطقه مشخص با توجه به آشفستگی‌های محیطی ممکن است روند تحولی متفاوتی در جنگل مشاهده شود که نتیجه آن شکل‌گیری موزایک‌ها و مسیر تحولی متفاوت در توده‌های جنگلی است (Korpel, 1995). براساس شکل‌گیری چرخه‌های موزایکی، تحول و مرگ و میر درختان در مقیاس توده‌های جنگلی مطرح است. آشوب‌های کوچک مقیاس اغلب سبب اثر بر پایه‌های درختی منفرد می‌شود درحالی‌که در مقیاس توده و موزایک‌ها، آشوب‌ها بر مقیاس متوسط و بزرگتر اثرگذارتر هستند. (Koop, 1989, Emborg et al., 2000). در جنگل‌های طبیعی، مراحل تحولی بر اساس مشخصه‌های ساختاری توده‌ها از نظر تعداد و حجم درختان زنده، تعداد و حجم خشک‌دار، و نسبت آنها در طبقه‌های قطری مختلف و همچنین حضور روشن در پوشش تاجی، زادآوری و تعداد آشکوب‌های توده به مراحل و فازهای مختلف دسته‌بندی شده‌اند (Sefidi et al., 2014; Moridi et al., 2015). Korpel (1995) در جنگل‌های طبیعی و بکر راش اروپا سه مرحله شامل مرحله اولیه، بلوغ و پوسیدگی را شناسایی و تشخیص داد که با توجه به پژوهش‌های اولیه مراحل تحولی در جنگل‌های شمال ایران، اغلب این سه مرحله تحولی یاد شده توسط دانشمندان ایرانی ملاک عمل قرار گرفتند (Akhavan et al., 2012; Mataji et al., 2014; Vahedi et al., 2016; Sagheb-Talebi et al., 2020; Kakavand et al., 2021).

همسال و ناهمسال نیز تأثیر دارد. درک پویایی ساختار جنگل در عملیات مدیریتی جنگل از طریق پیش‌بینی ساختار آینده جنگل و تحول آن، برای دسترسی به اهداف مدیریتی، کاهش هزینه‌های جنگل‌شناسی و افزایش قابلیت تولیدی بوم‌سازگان‌های جنگلی کاربردهای زیادی دارد (O'Hara, 2014).

یکی از آشکارترین و مهم‌ترین جنبه‌های ساختاری یک توده جنگلی، الگوی مکانی و نحوه توزیع درختان در آن است. امروزه برای حل بسیاری از مسائل مربوط به بوم‌شناسی جنگل و مدیریت آنها، داشتن اطلاعات مربوط به الگوی مکانی درختان امری ضروری است. این موضوع به وضوح تأیید شده است که شناخت الگوی پراکنش مکانی، ابزاری لازم برای مدیریت بهینه در بسیاری از عرصه‌های جنگلی جهان است. بررسی الگوی مکانی درختان در تشریح پایداری بوم‌سازگان، طراحی طرح‌های مدیریتی مناسب و اقدامات حفاظتی و احیایی مفید است (Getzin et al., 2006). اطلاعات مکانی در مورد ساختار و ترکیب گیاهان جنگل در مقیاس‌های وسیع برای مدیریت صحیح جنگل‌ها و تحقیقات بوم‌شناختی لازم است. الگوی مکانی گونه‌های درختی می‌تواند اطلاعات قابل توجهی در مورد فرآیندهای پویایی جنگل و فعل و انفعالات بین درون گونه‌ای (Cheng et al., 2014)، مانند استقرار جنگل، رشد درختان، رقابت گونه‌ها، تولید مثل و مرگ و میر گیاهان ارائه دهد (Gray & He, 2009; Hao et al., 2007; Szmyt, 2012). درک این فعل و انفعالات می‌تواند بینش مهمی را برای پویایی و مدیریت جنگل ارائه دهد (Oliver & Larson, 1996).

روند تحول و پویایی در بوم‌سازگان‌های جنگلی در مقایسه با بوم‌سازگان‌هایی که در آن جانداران (میکرو-ماکرو ارگانیسم‌ها) بیشتر آن را تشکیل می‌دهند، با توجه به اینکه روابط و اثرگذاری درختان بر

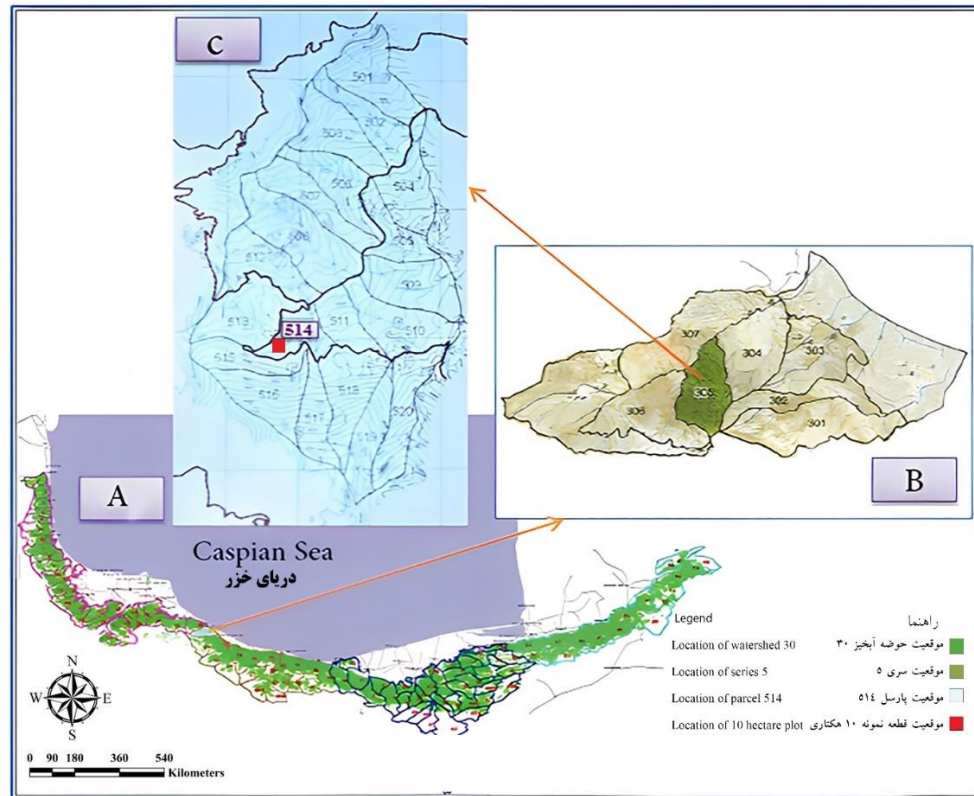
برای اجرا و پایش فعالیت‌های جنگل‌شناسی و جنگلداری مبتنی بر نظام طبیعت و تصمیم‌گیری‌های خاص جنگل‌شناسی نیاز به آگاهی کامل و وضعیت کمی و کیفی توده‌های جنگلی مدیریت‌شده و اندازه‌گیری مستمر اثرات عملیات گذشته بر روی آنها است. با توجه به اهمیت شناخت اثرهای ناشی از دخالت‌های مدیریتی گذشته بر ساختار توده‌های جنگلی و مراحل تحولی آن، این پژوهش با هدف شناخت الگوی مکانی و تنوع ساختمانی موزاییک‌های مراحل مختلف تحولی در جنگل آمیخته مدیریت‌شده راش شرقی در یک قطعه نمونه به مساحت ۱۰ هکتار در سطح موزاییک‌های مختلف مراحل تحولی انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

منطقه مورد بررسی در پارسل شماره ۵۱۴ سری پنج طرح جنگلداری اشکته چال واقع در حوضه آبخیز ۳۰ رامسر قرار دارد. این سری در قسمت جنوبی شهرستان رامسر، در عرض شمالی ۲۵' ۴۹" ۳۶° تا ۲۷' ۲۸" ۳۰° و طول شرقی ۴۶' ۲۲" ۵۰° تا ۲۸' ۲۸" ۳۰° قرار دارد. شکل ۱ نشان‌دهنده موقعیت منطقه مورد بررسی است.

الگوهای مکانی در میان گونه‌های درختی در داخل توده‌های جنگلی، بین جوامع درختی و محیط‌زیست است که می‌تواند بر همزیستی گونه‌ها و ساختار جوامع تأثیر گذارد. الگوی مکانی جوامع گیاهی دارای همبستگی مکانی است و قانون تنوع با مقیاس مکانی ارتباط تنگاتنگی دارد (Yang et al., 2018). تغییرات در الگوهای مکانی اغلب با تجمع پایه‌های جوان آغاز می‌شود که با تکامل آنها، به الگوهای تصادفی یا منظم تبدیل می‌شوند (Getzin et al., 2006). تجمع مکانی ممکن است نتیجه عوامل مختلفی باشد که شامل راهبردهای زادآوری مانند پراکندگی بذر، تکثیر کلونال (Clonal reproduction)، شرایط خاک و آشوب‌هایی است که بر ساختار تاج پوشش تأثیر می‌گذارد (Erfanifard and Stereńczak, 2017). چیدمان گونه‌های درختی می‌تواند اطلاعات قابل‌توجهی در مورد فرآیندهای پویایی جنگل و فعل و انفعالات بین درون گونه‌ای، مانند استقرار جنگل، رشد درختان، رقابت گونه‌ها، تولید مثل گیاهان و مرگ و میر ارائه دهد (Schleicher et al., 2011). درک این فعل و انفعالات می‌تواند بینش مهمی را برای پویایی و مدیریت جنگل ارائه دهد (Erfanifard and Stereńczak, 2017).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد تحقیق (A: موقعیت حوضه آبخیز ۳۰ در شمال کشور، B: موقعیت سری ۵، اشکته-چال و C: موقعیت پارسل ۵۱۴)

Figure 1. The geographical location of the studied area (A: the location of watershed 30, B: the location of series 5, Eshkatehchal, and C: the location of parcel 514)

شماره‌گذاری درختان، ویژگی‌هایی مانند قطر برابر سینه و ارتفاع درختان اندازه‌گیری شد. پس از آماربرداری ۱۰۰ درصد از قطر درختان، درختان براساس قطر برابر سینه به چهار طبقه کم قطر (کوچک‌تر از ۳۵ سانتی-متر)، میان قطر (۳۵-۵۰ سانتی‌متر)، قطور (۷۵-۵۰ سانتی‌متر) و خیلی قطور (بیش‌تر از ۷۵ سانتی‌متر) تقسیم‌بندی شدند (Sagheb-Talebi et al., 2020). برای کمی‌سازی ساختار هر موزاییک در توده مورد بررسی از مجموعه‌ای از شاخص‌های مختلف استفاده شد (جدول ۱). این شاخص‌ها به بررسی ساختار جنگل براساس سه ویژگی الف) تنوع الگوی مکانی، ب) تنوع آمیختگی و ج) تنوع ابعاد درختان می‌پردازند. پس از تحلیل داده‌ها در آخر مشخصه‌های ساختاری توده شامل

روش پژوهش

یک محدوده ۱۰ هکتاری در توده‌های مدیریت شده پارسل شماره ۵۱۴ سری ۵ طرح جنگلداری اشکته چال که تعداد ۴۲ موزاییک از مراحل تحولی اولیه، بلوغ و پوسیدگی که بر اساس شاخص‌ها و معیارهای تعیین مراحل تحولی (Korpel (1995) در طبیعت تفکیک شده بود، بدون در نظر گرفتن اندازه و شکل آن، شناسایی و انتخاب شدند. درختان داخل هر موزاییک شماره‌گذاری شده و مورد آماربرداری ۱۰۰ درصد قرار گرفتند. موقعیت مکانی تمامی درختان زنده که دارای قطر برابر سینه بیشتر از ۷/۵ سانتی‌متر بودند با استفاده از فاصله و آزیموت پایه‌ها نسبت به یکدیگر با متر نواری، شیب‌سنج و قطب نما برای هر درخت ثبت شد. پس از

شاخص‌های تمایز قطری، تمایز ارتفاعی، زاویه یکنواخت، فاصله تا همسایه‌ها، آمیختگی، کلارک و ایوانز در موزاییک‌ها، محاسبه شدند. برای بررسی تنوع موقعیت مکانی درختان از شاخص‌های زاویه یکنواخت و کلارک و ایوانز استفاده شد. همچنین برای بررسی آمیختگی گونه‌ای نیز از شاخص آمیختگی و برای بررسی تنوع ابعاد درختان در هر موزاییک مرحله

تحولی، از شاخص‌های تمایز قطری و تمایز ارتفاعی استفاده شد. تراکم درختان نیز با استفاده از شاخص فاصله تا همسایه‌ها اندازه‌گیری شد (Pommerening, 2002). آنالیزهای مربوطه به تحلیل نوع آمیختگی و نوع پراکنش درختان در توده‌های مورد بررسی، با استفاده از نرم‌افزار Crancod (Ver 1.4) محاسبه شد.

جدول ۱- شاخص‌های ساختاری مورد استفاده در تحقیق

Table 1. Research-related structural indicators

منبع Reference	رابطه Equation	شاخص Index
Ruprecht et al. (2010)	$D_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 S_{ij}$	فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه‌ها Distance to nearest neighbors
Pommerening, (2002)	$W_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 v_{ij}$	زاویه یکنواخت Uniform angle
Pommerening (2002)	$M_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 V_{ij}$	آمیختگی Mingling
Ruprecht et al. (2010)	$T_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 (1 - r_{ij})$	تمایز قطری DBH differentiation
Ruprecht et al. (2010)	$T_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 (1 - r_{ij})$	تمایز ارتفاعی Height differentiation
Clark and Evans (1954)	$R = \frac{d_{obs}}{d_{exp}}$	کلارک و ایوانز Clark and Evans

است درحالی‌که در درختان با توزیع کپه‌ای این ارزش به سمت یک میل می‌کند (Kint., 2005). شاخص کلارک و ایوانز مقدار انحرافی را که یک جنگل در سطحی برابر A که دارای N درخت است از توزیع Poisson (جنگلی با توزیع کاملاً تصادفی) دارد را نشان می‌دهد (Clark and Evans, 1954; Pommerening, 2002). اگر مقدار این شاخص بیشتر از یک باشد، جنگل دارای الگوی مکانی منظم، اگر مساوی یک باشد، جنگل الگوی مکانی تصادفی و اگر کمتر از یک باشد جنگل مورد بررسی دارای الگوی مکانی کپه‌ای است.

شاخص زاویه یکنواخت شاخصی است که برای موقعیت مکانی درختان بکار می‌رود. شاخص زاویه یکنواخت بر اساس روش‌های مبتنی بر نزدیکترین همسایه است که به بررسی درجه منظم بودن الگوی مکانی درخت مرجع نسبت به چهار درخت همسایه اطراف خود می‌پردازد. مقدار این شاخص بین صفر تا یک متغیر است و در هنگام استفاده از چهار درخت همسایه، یکی از پنج ارزش صفر، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ می‌تواند برای این شاخص در نظر گرفته شود. ارزش پایین این شاخص نشان‌دهنده وضعیت منظم درختان

نتایج

در مجموع تعداد ۳۱۰۵ اصله درخت از گونه‌های راش، پلت، ممرز، زبان‌گنجشک، شیردار، توسکا بیلاقی، بارانک و ملج در محدوده ۱۰ هکتاری شناسایی و ثبت شد که مشخصات کمی اندازه‌گیری شده به تفکیک موزایک‌های مراحل تحولی برای شناخت بهتر وضعیت محدوده مورد بررسی در جدول ۲ ارائه شده است. توده ۱۰ هکتاری در مجموع تعداد ۴۲ موزایک از مراحل تحولی مختلف با اشکال نامنظم و مساحت‌های متغیر را که از قبل تفکیک شده بود به خود اختصاص داد. مرحله تحولی اولیه با ۱۸ موزایک، بیشترین و مرحله بلوغ با ۱۱ موزایک، کمترین فراوانی را به خود اختصاص دادند. مساحت موزایک‌ها از ۲۹۲ تا ۵۱۴۵ مترمربع متغیر بود. در مجموع در توده مورد بررسی، مرحله اولیه دارای بیشترین و مرحله پوسیدگی دارای کمترین سطح در منطقه مورد بررسی بودند.

شاخص آمیختگی گونه‌ها با توجه به فراوانی نسبی و موقعیت قرارگیری گونه‌ها نسبت به یکدیگر می‌تواند دارای ارزشی بین صفر تا یک باشد. در هنگام استفاده از چهار همسایه اطراف درخت مرجع، ارزش این شاخص می‌تواند یکی از پنج مقدار صفر (همه همسایه‌ها مشابه گونه مرجع)، ۰/۲۵ (یک همسایه متفاوت با گونه مرجع)، ۰/۵۰ (دو همسایه متفاوت با گونه مرجع)، ۰/۷۵ (سه همسایه متفاوت با گونه مرجع) و یا یک (هیچ‌کدام از همسایه‌ها مشابه گونه مرجع نیست) باشد (Ruprecht et al., 2010). همچنین در این پژوهش برای بررسی تنوع ابعاد درختان، از شاخص تمایز قطری و شاخص تمایز ارتفاعی استفاده شد. این شاخص‌ها دارای ارزشی بین ۰-۱ هستند. هر چه درختان همسایه از نظر قطر و ارتفاع دارای ناهمگنی کمتری نسبت به یکدیگر باشند، ارزش این دو شاخص نزدیک به صفر و هر چه درختان همسایه دارای اختلاف بیشتری از نظر قطر و ارتفاع نسبت به یکدیگر باشند، این ارزش به سمت یک میل می‌کند (Pommerning, 2002).

جدول ۲- میانگین مشخصات کمی اندازه‌گیری شده به تفکیک مراحل تحولی

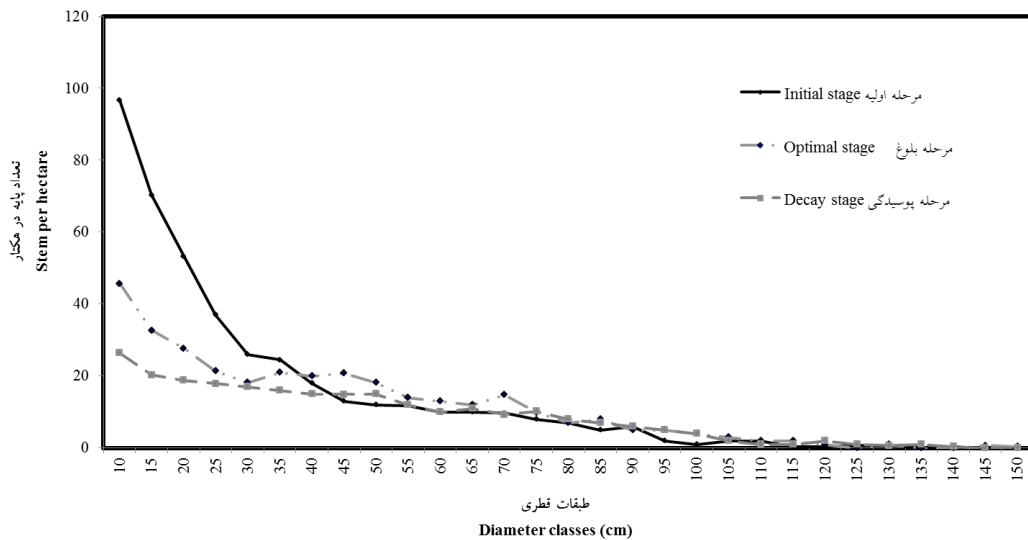
Table 2. The average quantitative features assessed based on developmental phases

مرحله تحولی Development stage	تعداد در هکتار Number per hectare	حداقل قطر (سانتی‌متر) Minimum diameter (cm)	حداکثر قطر (سانتی‌متر) Maximum diameter (cm)	میانگین قطر (سانتی‌متر) Average diameter (cm)	سطح مقطع (مترمربع) Basal area (m ²)	میانگین ارتفاع (متر) Average height (m)	مساحت (هکتار) Area (ha)
اولیه Initial	427	7.5	142	27.06	38.75	21.75	4.7
بلوغ Optimal	317	7.5	127	30.12	42.26	24.65	3.4
پوسیدگی Decay	212	7.5	152	33.45	37.63	25.11	1.9

و کمترین فراوانی درختان سرپا در هکتار را به خود اختصاص دادند. متوسط سطح مقطع در هکتار در

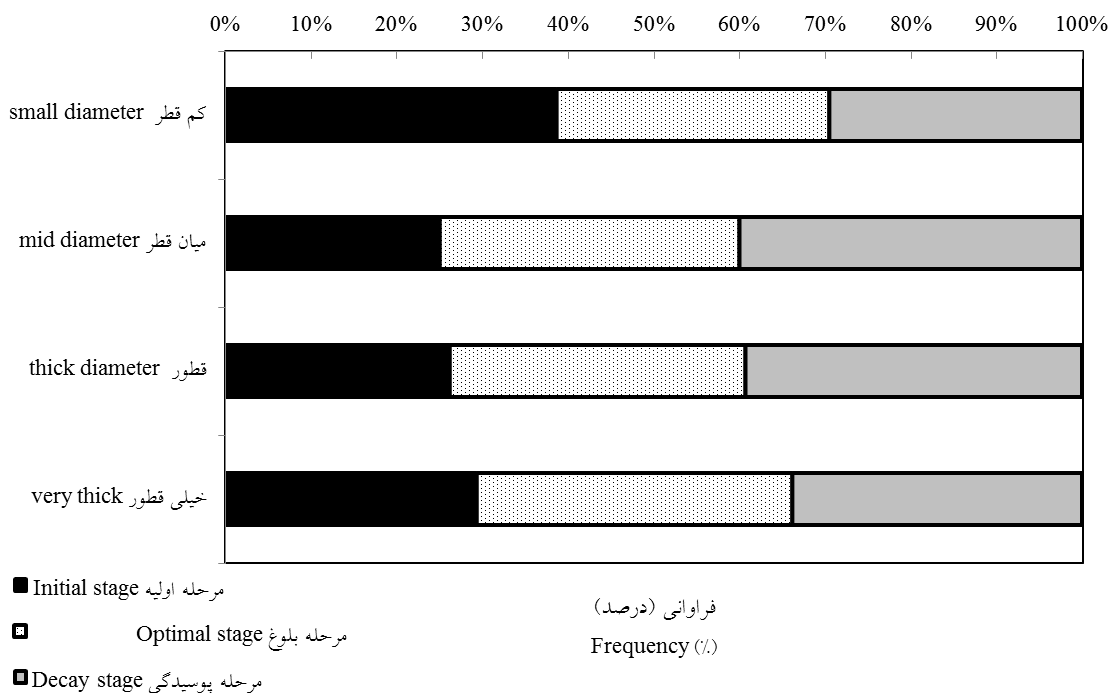
مرحله تحولی اولیه و پوسیدگی به ترتیب با متوسط ۴۲۷ و ۲۱۲ اصله در هکتار به ترتیب بیشترین

مراحل تحولی اولیه، بلوغ و پوسیدگی به ترتیب ۳۸/۷۵، ۴۲/۲۶ و ۳۷/۶۳ مترمربع در هکتار اندازه‌گیری شد. شکل ۲ و ۳ به ترتیب نمودار پراکنش درختان را در طبقات و طبقه‌های قطری در موزاییک‌های مختلف مراحل تحولی را نشان می‌دهد.



شکل ۲- نمودار پراکنش درختان در طبقات قطری در مراحل تحولی

Figure 2. Distribution of trees in diameter classes throughout evolutionary phases



شکل ۳- نمودار پراکنش درختان در طبقه‌های قطری در مراحل تحولی

Figure 3. Distribution of trees in diameter classes throughout evolutionary phases

جدول ۳ میانگین شاخص‌های ساختاری جنگل در موزاییک‌های مراحل تحولی مختلف را نشان می‌دهد. مقدار شاخص فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه در موزاییک‌های مراحل تحولی اولیه، بلوغ و پوسیدگی به

میانگین شاخص تمایز قطری در مراحل تحولی اولیه، بلوغ و پوسیدگی به ترتیب ۰/۴۳، ۰/۳۷ و ۰/۴۳ محاسبه شد. میانگین شاخص تمایز ارتفاعی در مرحله اولیه ۰/۳۱، بلوغ ۰/۲۸ و مرحله پوسیدگی ۰/۳۳ به دست آمد که بیانگر اختلاف ارتفاعی کم تا متوسط درختان همسایه نسبت به یکدیگر است. لازم به ذکر است که هر چه ارزش عددی مقدار این دو شاخص از صفر به سمت یک میل کند، اختلاف بین کوچکترین و بزرگترین درخت از نظر ویژگی مورد بررسی بیشتر است.

ترتیب به طور متوسط ۴/۳۹، ۴/۹۶ و ۵/۷۶ متر به دست آمد (جدول ۳). مقدار شاخص کلارک ایوانز در هر سه مرحله تحولی کمتر از یک به دست آمد که بیانگر این است که درختان در تمامی قطعات از الگوی پراکنش کپه‌ای برخوردار هستند. مقدار شاخص زاویه یکنواخت در تمام مراحل ۰/۵ و بیشتر از ۰/۵ محاسبه شد که نشان‌دهنده الگوی پراکنش کپه‌ای درختان است. مقدار متوسط شاخص آمیختگی در موزاییک‌های مراحل تحولی اولیه، بلوغ و پوسیدگی به ترتیب به طور متوسط ۰/۳۱، ۰/۲۷ و ۰/۱۸ به دست آمد (جدول ۳). همچنین

جدول ۳- میانگین شاخص‌های تنوع ساختاری در مراحل تحولی مختلف

Table 3- Average indices of structural diversity in various evolutionary phases

مرحله تحولی			شاخص Index	ویژگی مورد بررسی Properties
Development stages				
پوسیدگی Decay	بلوغ Optimal	اولیه Initial		
5.76	4.96	4.39	فاصله تا نزدیکترین همسایه‌ها (متر) Distance to neighbors (m)	تراکم Density
0.89	0.84	0.92	شاخص کلارک و ایوانز Clark and Evans index	تنوع موقعیت مکانی Spatial pattern diversity
0.52	0.52	0.5	شاخص زاویه یکنواخت Uniform angle index	
0.18	0.27	0.31	شاخص آمیختگی Mingling index	تنوع آمیختگی Mingling diversity
0.43	0.37	0.43	شاخص تمایز قطری DBH differentiation index	تنوع ابعاد درختان Trees dimensions diversity
0.33	0.28	0.31	شاخص تمایز ارتفاعی Height differentiation index	

بلوغ در بین دو مرحله دیگر قرار داشت که همسو با نتایج بررسی مقایسه شاخص پیچیدگی ساختار (SCI) در مراحل تحولی جنگل‌های آمیخته راش هیرکانی (Sagheb-Talebi et al. (2020) Sefidi (2023) است. در بررسی ساختار توده در قطعه‌های دائمی راشستان‌های دست‌نخورده جنگل‌های هیرکانی در چهار منطقه مختلف، متوسط تعداد درختان را

بحث
نتایج حاصل از پژوهش نشان‌دهنده متفاوت بودن تعداد درختان در موزاییک‌های مراحل تحولی مختلف بود. به طوری که مرحله تحولی اولیه به طور متوسط با دارا بودن ۴۲۷ اصله دارای بیشترین و مرحله تحولی پوسیدگی به طور متوسط با دارا بودن ۲۱۲ اصله دارای کمترین تعداد درخت هستند و مرحله تحولی

بنابراین، این شاخص‌ها در تشریح اختلاف بین جنگل‌هایی که دارای ساختار یکسان ولی با تراکم متفاوت بوده، ناتوان هستند (Ruprecht et al., 2010). Nobahar et al. (2018) در پژوهشی در جنگل‌های راش اسالم استان گیلان بیان داشتند که هر چه توده در مراحل پیشرفته‌تری از تحول قرار داشته باشد، متوسط فاصله درختان نیز از یکدیگر بیشتر می‌شود. Moridi et al. (2021) در تحلیل کمی ساختار جنگل در مرحله افزایش حجم در روند تحول توده‌های طبیعی راش مقدار متوسط شاخص فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه‌ها را $6/03$ متر گزارش کردند که بیشتر از مقدار عددی تحقیق حاضر ($4/96$) است.

براساس نتایج، الگوی مکانی در هر سه مرحله تحولی به صورت کپه‌ای است. توزیع کپه‌ای درختان راش در این مراحل می‌تواند به دلیل ویژگی‌های بوم-شناسی این گونه مانند بذور سنگین و درشت، زادآوری لکه‌ای و سایه‌پسندی آن باشد (Habashi et al., 2007). در توده‌هایی که مداخلات انسانی کم است، مانند جنگل‌های موجود در پارسل‌های شاهد و ذخیره‌گاه‌ها، مهمترین عوامل مؤثر بر الگوی مکانی پایه‌ها، رقابت و مرگ و میر است. الگوهای توزیع جمعیت به‌طور قابل-توجهی به مقیاس مکانی وابسته است (Ruprecht et al., 2010). همچنین شرایط پیچیده توپوگرافی در جنگل‌های کوهستانی نیز بذرها را در مکان‌های محدود متمرکز می‌کند (Yang et al., 2018). الگوی مکانی تصادفی می‌تواند به دلیل تنک‌شدن طبیعی در اثر رقابت درون گونه‌ای و نیاز به منابع غذایی زیاد باشد (Halpin and Lorimer, 2016). مقدار شاخص آمیختگی بیانگر آمیختگی بسیار کم در توده‌های مورد بررسی به‌ویژه در مرحله تحولی پوسیدگی بود. Ghalandarayeshi et al. (2017) در بررسی الگوی مکانی گونه‌های درختی در توده‌های

در مراحل اولیه، بلوغ و پوسیدگی به ترتیب ۳۶۹، ۳۱۰ و ۲۴۶ اصله در هکتار گزارش کردند. همچنین براساس یافته‌های این پژوهش، با کاهش تعداد درختان در طی عبور از مرحله تحولی اولیه به سمت پوسیدگی میانگین قطر برابرسینه درختان افزایش می‌یابد. پژوهشگران مختلف برای تشخیص مراحل تحولی جنگل و همچنین بررسی و مقایسه توده‌های بکر و مدیریت‌شده، از میانگین قطر برابرسینه درختان استفاده کرده و بیان می‌کنند که با افزایش سن توده و گذر مراحل تحولی، میانگین قطر برابرسینه افزایش می‌یابد (Spies and Franklin, 1991). منحنی پراکنش تعداد در طبقات قطری درختان در هر سه مرحله حالت کم‌شونده دارد. در طی مراحل بلوغ و پوسیدگی منحنی‌های ترسیم شده ضمن حفظ حالت کم‌شوندگی از شیب به‌نسبت ملایم‌تری برخوردار هستند که این موضوع نشان‌دهنده حضور به‌نسبت کمتر درختان کم‌قطر و حضور بیشتر درختان قطورتر (طبقات قطری بالاتر) است. پژوهش‌های زیادی در زمینه کمی‌سازی ساختار توده‌های جنگلی به انجام رسیده و در آخر به این نتیجه رسیدند که منحنی پراکنش قطری در جنگل‌های ناهمسال به صورت J شکل وارونه است (Meyer, 1952).

همان‌طور که در نتایج بررسی شد، ارزش شاخص میانگین فاصله تا نزدیکترین همسایه‌ها در طی عبور از مرحله تحولی اولیه به سمت پوسیدگی افزایش یافته است، که با وجود اینکه نشان‌دهنده کاهش تعداد درختان است، می‌تواند بیانگر تغییر الگوی مکانی نیز باشد. به‌کارگیری این شاخص به‌طور مکمل با دیگر شاخص‌های مبتنی بر نزدیکترین همسایه از این نظر قابل توصیه است که بیشتر شاخص‌های مبتنی بر نزدیکترین همسایه، بدون در نظر گرفتن فواصل بین درختان به کمی‌سازی ساختار جنگل می‌پردازند.

همسایه در مرحله تحولی اولیه و پوسیدگی و اختلاف قطری متوسط برای درختان همسایه در مرحله تحولی بلوغ است. (Bilek et al., 2011) در پژوهشی برای بررسی ساختار توده‌های جنگلی راش مدیریت شده و مدیریت نشده پس از ۵۰ سال تکامل در Bohemia، ایالات متحده آمریکا، به این نتیجه دست یافتند که در جنگل‌های راش مدیریت نشده، شاخص تمایز قطری مقادیر بالاتری را نشان داد. به اثبات رسیده است که ابعاد درخت عامل مهمی است که بر رشد درخت تأثیر می‌گذارد و می‌تواند برای تشریح پویایی جنگل مورد استفاده قرار گیرد (Sagheb talebi et al., 2020). (Pommerening and Grabarnik 2019) بیان کردند که علاوه بر سن و مراحل تحولی، مدیریت جنگل نیز بر اختلاف ابعاد درختان تأثیرگذار است.

نتیجه‌گیری کلی

از مهمترین اهداف این پژوهش، کمی‌سازی ویژگی‌های ساختاری موزایک‌های مراحل تحولی مختلف در توده‌های مدیریت شده راش برای کسب شناخت بیشتر از تأثیر مدیریت گذشته بر وضعیت توده‌ها و شناخت تفاوت‌های موجود است. با توجه به مدیریت شدن این توده‌ها، نتایج کمی‌سازی ساختار توده‌های جنگلی به تناسب موزایک‌های مراحل تحولی مختلف می‌تواند به‌عنوان یک راهنما و الگو برای مدیریت دیگر توده‌های جنگلی مشابه مورد استفاده قرار گیرد. همچنین مشخصه‌ها و توابع مورد استفاده در این پژوهش می‌توانند به‌عنوان شاخص‌هایی برای سنجش دخالت‌های انجام شده (اجرای اقداماتی مانند عملیات پرورشی و نشانه‌گذاری) و همچنین پایش مراحل تحولی در این توده‌ها در طی زمان مورد استفاده مدیران جنگل قرار گیرند. بهتر است این‌گونه پژوهش‌ها در طول زمان و با پایش یک توده ثابت انجام شود. تنوع ساختاری جنگل‌های مدیریت شده ناهمسال بین مراحل

کمتر تخریب یافته راش دانمارک، مقدار این شاخص نیز پایین (۰/۳۳) به دست آمد که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. با افزایش حضور گونه راش در توده و حذف دیگر گونه‌ها به‌ویژه گونه‌های پیشگام، مقدار عددی شاخص کاهش می‌یابد و توده به سمت خالص شدن پیش می‌رود. در توده‌های راش کهن‌رست آمیختگی کم کاملاً طبیعی است زیرا گونه راش سایه قوی را در زیر تاج پوشش خود ایجاد می‌کند تا مانع از رشد دیگر گونه‌ها به‌خصوص گونه‌های نورپسند در زیر تاج پوشش جنگل شود. دیگر گونه‌ها ممکن است در روشن‌های حاصل از آشفته‌گی‌های طبیعی خرد-مقیاس و یا آشفته‌گی‌های غیر طبیعی ناشی از مداخلات انسانی، مستقر شوند که دلیل آمیختگی بیشتر در مرحله تحولی اولیه نسبت به دو مرحله دیگر می‌تواند به دلیل حضور روشن‌های متعدد در این مرحله باشد. در توده‌های جنگلی خالص یا توده‌های جنگلی که بیش از ۷۰ درصد توده را یک گونه تشکیل می‌دهد، مقدار شاخص آمیختگی توده معمولاً پایین است (Alijani et al., 2013). در این پژوهش نیز از آنجایی که گونه اصلی تشکیل دهنده منطقه مورد تحقیق راش بود، این مسئله دور از تصور نیست. از طرفی آمیختگی گونه‌ای به‌طور مستقیم تحت تأثیر الگوی مکانی درختان قرار می‌گیرد (Pommerening, 2002). تمایل گونه راش به داشتن الگوی مکانی کپه‌ای موجب می‌شود که بیشتر درختان مجاور این گونه از پایه‌های راش باشند که این موضوع با نتایج تحقیق (Alijani et al., 2013) در جنگل خیرود نوسهر مطابقت دارد.

بررسی ساختار افقی یک توده با بررسی شاخص تمایز قطری و ساختار عمودی درختان جنگلی به‌وسیله شاخص تمایز ارتفاعی به راحتی امکان پذیر است (Grotti et al., 2019). نتایج حاصل از شاخص تمایز قطری نشان دهنده اختلاف قطری آشکار برای درختان

مشابه در سری‌های زمانی پنج تا ۱۰ ساله در توده‌های مورد بررسی انجام شود.

مختلف تحولی متفاوت است. بنابراین، برای درک چگونگی تأثیر مدیریت جنگل بر پویایی ساختاری کوتاه‌مدت در جنگل‌های راش بایستی پژوهش‌های

References

- Akhavan, R.; Sagheeb-Talebi, K.; Zenner, E.K.; Safavimanesh, F., Spatial patterns in different forest development stages of an intact old-growth Oriental beech forest in the Caspian region of Iran. *European Journal of Forest Research* **2012**, *131*, 1355-1366.
- Akhavan, R.; Hassani, M., Quantifying the structure of pure beech forests using spatial structural indices. *Forest Research and Development* **2023**, *9* (2), 221-235. (In Persian)
- Alijani, V.; Sagheb Talebi, K.; Akhavan, R., Quantifying structure of intact beech (*Fagus orientalis* Lipsky) stands at different development stages (Case study: Kelardasht area, Mazandaran). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2013**, *21* (3), 396-410. (In Persian)
- Amini, M.; Sagheb-Talebi, K.; Namiranian, M.; Amini, R., Investigation on increment of *Fagus orientalis* Lipsky using time series analysis. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2009**, *17* (3), 404-421. (In Persian)
- Bauhus, J.; Puettmann, K.; Messier, C., Silviculture for old-growth attributes. *Forest Ecology and Management* **2009**, *258* (4), 525-537.
- Bilek, L.; Remes, J.; Zahradnik, D., Managed versus unmanaged. Structure of beech forest stands *Fagus sylvatica* L. after 50 years of development, Central Bohemian. *Forest Systems* **2011**, *20* (1), 122-138.
- Clark, P.J.; Evans, F.C., Distance to nearest neighbor as a measure of spatial relationships in populations. *Ecology* **1954**, *35* (4), 445-53.
- Emborg, J.; Christensen, M.; Heilmann-Clausen, J., The structural dynamics of Suserup Skov, a near-natural temperate deciduous forest in Denmark. *Forest Ecology and Management* **2000**, *126* (2), 173-189.
- Erfanifard, Y.; Stereńczak, K., Intra-and interspecific interactions of Scots pine and European beech in mixed secondary forests. *Acta Oecologica* **2017**, *1* (78), 15-25.
- Fazlollahi Mohammadi M, Tobin B, Jalali SG, Kooch Y, Riemann R. Fine-scale topographic influence on the spatial distribution of tree species diameter in old-growth beech (*Fagus orientalis* Lipsky.) forests, northern Iran. *Scientific Reports* **2022**, *12* (1), 7633-7649.
- Getzin, S.; Dean, C.; He, F. A.; Trofymow, J.; Wiegand, K.; Wiegand, T., Spatial patterns and competition of tree species in a Douglas-fir chronosequence on Vancouver Island. *Ecography* **2006**, *29* (5), 671-682.
- Ghalandarayeshi, S.; Nord-Larsen, T.; Johannsen, V. K.; Larsen, J. B., Spatial patterns of tree species in Suserup Skov—a semi-natural forest in Denmark. *Forest Ecology and Management* **2017**, *406*, 391-401.
- Grotti, M.; Chianucci, F.; Puletti, N.; Fardusi, M. J.; Castaldi, C.; Corona, P., Spatio-temporal variability in structure and diversity in a semi-natural mixed oak-hornbeam floodplain forest. *Ecological Indicators* **2019**, *104*, 576-87.
- Habashi H, Hosseini, SM, Mohammadi, J, Rahmani, R., Stand structure and spatial pattern of trees in mixed Hyrcanian beech forests of Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2007**, *15* (1), 55-64. (In Persian)
- Halpin, CR.; Lorimer, C. G., Trajectories and resilience of stand structure in response to variable disturbance severities in northern hardwoods. *Forest Ecology and Management* **2016**, *365*, 69-82.
- Kakavand; M., Etemad, V., Sagheb-Talebi, Kh., Mohadjer, M.R., Ammer, C., Development stages dynamics of the Hyrcanian reserve stands, Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2021**, *28* (3), 231-243. (In Persian)
- Kint, V., Structural development in ageing temperate Scots pine stands. *Forest Ecology and Management* **2005**, *214* (1-3), 237-250.
- Korpel, S., *Die Urwälder der Westkarpaten*. Gustav Fischer Verlag: Stuttgart, 1995; p 310.
- Koop, H. *Forest Dynamics. Silvi Star, A Comprehensive Monitoring System*. Springer: Berlin, 1989; 230 pp.
- Kuuluvainen, T.; Penttinen, A.; Leinonen, K.; Nygren, M., Statistical opportunities for comparing stand structural heterogeneity in managed and primeval forests: an example

- from boreal spruce forest in southern Finland. *Silva Fennica* **1996**, 30 (2–3), 315–328.
- Mataji, A.; Sagheb-Talebi, K. H.; Eshaghi-Rad, J., Deadwood assessment in different developmental stages of beech (*Fagus orientalis* Lipsky) stands in Caspian Forest ecosystems. *International Journal of Environmental Science and Technology* **2014**, 11 (5), 1215-1222.
- Meyer, H. A., Structure, growth, and drain in balanced uneven-aged forests. *Journal of Forestry* **1952**, 50 (2), 85-92.
- Moridi, M.; Sefidi K.; Etemad, V., Stand characteristics of mixed oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) stands in the stem exclusion phase, northern Iran. *European Journal of Forestry research*, **2015**, 134, 693-703.
- Moridi, M.; Fallah, A.; Pourmajidian, M. R.; Sefidi, K., Quantitative Analysis of Forest Structure at Growing Up Volume Stage in the Evaluation of Natural Beech Stands (Case Study: Kheyroud Forest). *Iranian Journal of Forest* **2021**, 13 (2), 115-28. (In Persian)
- Motta, R.; Berretti, R.; Castagneri, D.; Lingua, E.; Nola, P.; Vacchiano, G., Stand and coarse woody debris dynamics in subalpine Norway spruce forests withdrawn from regular management. *Annals of Forest Science* **2010**, 67, 803-803.
- Nobahar, S.; Sefidi, K.; Sagheb Talebi, K., Quantifying the structure of beech stands at old growth phase (Case study: Asalem forests, northern Iran). *Forest Research and Development* **2018**, 4 (1), 85-96. (In Persian)
- O'Hara, K.L. *Multiaged silviculture: managing for complex forest stand structures*, Oxford University Press: Oxford, USA, 2014; p 213.
- Parhizkar, P.; Sagheb-Talebi, K.; Zenner, E. K.; Hassani M.; Sadeghzadeh Hallaj, M. H., Gap and stand structural characteristics in a managed and an unmanaged old-growth oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) forest. *Forestry: An International Journal of Forest Research* **2021**, 94 (5), 691-703.
- Pommerening, A., Approaches to quantifying forest structures. *Forestry: An International Journal of Forest Research* **2002**, 75 (3), 305-324.
- Pommerening A, Grabarnik P. *Individual-based methods in forest ecology and management*, Cham: Springer nature, Switzerland, 2019; p 411.
- Ruprecht, H.; Dhar, A.; Aigner, B.; Oitzinger, G.; Klumpp, R.; Vacik, H., Structural diversity of English yew (*Taxus baccata* L.) populations. *European Journal of Forest Research* **2010**, 129, 189-198.
- Sagheb-Talebi, K.; Sajedi, T.; Pourhashemi, M., *Forests of Iran, a treasure from the past, a hope for the future*. Springer: Berlin, **2014**; p 148.
- Sagheb-Talebi, K.; Parhizkar, P.; Hassani, M.; Amanzadeh, B.; Hemmati, A.; Khanjani-Shiraz, B.; Amini, M.; Kiasari, SM.; Mirkazemi, SZ.; Karimidoost, A.; Maghsoudlou, MK., Preliminary results of survey on stand structure in permanent research plots of Hyrcanian intact beech (*Fagus orientalis* Lipsky) forests. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2020**, 28 (2), 163-179. (In Persian)
- Schleicher, A.; Biedermann, R.; Kleyer, M., Dispersal traits determine plant response to habitat connectivity in an urban landscape. *Landscape Ecology* **2011**, 26, 529-540. 270-283. (In Persian)
- Sefidi, K., Comparison of structural complexity index (SCI) in the developmental stages of Hyrcanian mixed beech forests. *Iranian Journal of Forest* **2023**, 14 (4), 389-405. (In Persian)
- Sefidi, K.; Marvie-Mohadjer, M. R.; Etemad, V.; Mosandl, R., Late successional stage dynamics in natural oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) stands in Northern Iran (Case study: Gorazbon district of Kheiroud-Kenar experimental forest). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2014**, 22 (2), 270-283. (In Persian)
- Spies, T. A.; Franklin, J. F., The structure of natural young, mature, and old-growth Douglas-fir forests in Oregon and Washington. *Wildlife and vegetation of unmanaged Douglas-fir forests* **1991**, 1, 91-109.
- Vahedi, A.A.; Bijani, A., Khatib-Nia, E., Spatial analysis and long-term dynamics for above-ground biomass of Caspian poplar (*Populus caspica* Bornm.) in developmental stages of natural stands in Nour Forest Park. *Forest Research and Development* **2016**, 2 (3), 257-271. (In Persian)
- Yang, J.; Vázquez, L.; Feng, L.; Liu, Z.; Zhao, G., Climatic and soil factors shape the demographical history and genetic diversity of a deciduous oak (*Quercus liaotungensis*) in Northern China. *Frontiers in Plant Science* **2018**, 9, 1-14.

Zenner, E. K.; Peck, J. E.; Sagheb-Talebi, K.,
Patchiness in old-growth oriental beech
forests across development stages at multiple

neighborhood scales. *European Journal of
Forest Research* **2019**, *138*, 739-752.

Structural diversity of mosaics of developmental stages in the managed mixed forest of oriental beech (case study: Ramsar 30 watershed)

Seyed Bagher Mirahmadi¹, Asadollah Mataji^{*2}, Sasan Babai Kafaki³ and Reza Akhavan⁴

1- Ph.D. Student of Forestry, Faculty of Natural Resources and Environment Islamic Azad University Science and Research Branch, Tehran, I. R. Iran. (mirahmadi_rasool@yahoo.com)

2- Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources and Environment Islamic Azad University Science and Research Branch, Tehran, I. R. Iran. (amataji@srbiau.ac.ir)

3- Associate Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources and Environment Islamic Azad University Science and Research Branch, Tehran, I. R. Iran. (sbabaie@srbiau.ac.ir)

4- Associate Professor, Forest Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agriculture, Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, I. R. Iran. (akhavan@rifr-ac.ir)

Received: 26 July 2023

Accepted: 05 October 2023

Abstract

Background and objectives: Hyrcanian forests are critical for preserving genetic reserves and the survival of plant species specific to this vegetation region. As a result, ongoing research into the features of these various forest communities is constantly required in order to achieve optimal management and multi-purpose planning with the goal of preserving variety in these forests. Among these characteristics is the structure's dynamics, which influences ecosystem function and is rectified by forest management and natural disturbances. Understanding its structure and dynamics, as well as anticipating the forest's future structure and development, is critical for achieving management objectives, reducing forestry costs, and enhancing forest ecosystem production. Based on this, the major goal of this research was to study the structural variety of growth phases in the managed eastern mixed beech forests.

Methodology: a 10-hectare area in the managed stands of parcel No. 514, series 5 of the Safaroud forestry plan, which has 42 mosaics of initial, optimal and decay development stages, which are separated based on the indicators and criteria for determining the development stages in forest were identified and selected regardless of its size and shape. The trees inside each mosaic were numbered and measured with full calliper method. The location of all the trees with a diameter at breast height (dbh) greater than 7.5 cm was recorded using the distance and azimuth of the bases relative to each other for each tree. After numbering the trees, characteristics such as dbh and total height of the trees were measured. Then, based on the dbh, the trees were divided into four classes: small (less than 35 cm), medium (35-50 cm), large (50-75 cm) and extra large (more than 75 cm). To quantify the structure of each mosaic in the studied stands, a set of different structural indices was used based on the three characteristics of spatial pattern, mingling and dimensions of tree. After analyzing the data, the structural characteristics of the stands, including the indices of diameter and height differentiation, uniform angle, mean distance to the nearest neighbor, mingling and Clark and Evans index in the mosaics were calculated. Uniform angle and Clarke and Evans indices were used to check the diversity of tree spatial patterns. Also, to check the species admixture, the mingling index was used, and to check the diversity of tree dimensions in each development stage mosaic, the diameter and height differentiation indices were used. The density of trees was also measured using the distance index to the nearest neighbors. Analyzes related to the type of distribution of trees and the type of mixing in the studied stands were done using Crancod software (ver. 1.4).

Results: A total of 3105 trees of beech and other tree species were identified and recorded, and their quantitative characteristics were presented according to the mosaics of development stages. The 10-hectare area had a total of 42 mosaics of different development stages with irregular shapes and variable areas that had been separated. The initial development stage with 18 mosaics had the most and the optimal development stage with 11 mosaics had the least frequency. The area of the mosaics varied from 292 to 5145 square meters. In total, in the investigated stands, the initial stage had the highest surface

* Corresponding author

Tel: +989126408286

and the decay stage had the lowest surface in the studied area. The initial and decay development stages accounted for the highest and lowest number of stands density with an average of 427 and 212 stems per hectare, respectively. The average basal area was measured as 38.75, 42.26, and 37.63 square meters per hectare in the initial, optimal, and decay development stages, respectively. The mean distance to the nearest neighbor's index in the mosaics of the initial, optimal and decay development stages, was obtained 4.39, 4.96 and 5.76 meters, respectively. The value of Clark and Evans index was less than one in all three development stages, which indicates that the trees in all mosaics have a cluster distribution pattern. The value of the uniform angle index was calculated as 0.5 and more than 0.5 in all stages, which indicates the cluster distribution pattern of trees. The mean mingling index in the mosaics of initial, optimal and decay development stages, was obtained as 0.31, 0.27 and 0.18, respectively. Also, the mean diameter differentiation index was calculated at 0.43, 0.37 and 0.43 in the initial, optimal and decay stages, respectively. The mean height differentiation index was 0.31, 0.28 and 0.33 in the initial, optimal and decay stages, respectively, which indicates the low to medium height difference of the neighboring trees.

Conclusion: According to the management activities in the studied beech stands, the results of the quantification of the stand structure according to the mosaics of different development stages can be used as a guide and template for the management of other similar forest stands. Also, the characteristics and functions used in this research can be used by forest managers as indicators to measure the interventions made (like tending and marking) as well as to monitor the development stages in these stands over time. The structural diversity of uneven-aged managed forests is different among different development stages. Therefore, in order to understand how management activities, affect the short-term structural dynamics in beech forests, similar researches should be conducted in five to 10-year time series in the investigated stands. Also, to get better results, these studies should be done over time and by monitoring a fixed stand.

Keywords: Dynamics, Height differentiation, Diameter differentiation, Structure, Uniform angle index.